



Propuesta de Compensación Ambiental para la Huella Ecológica del Campus Rodelillo, Universidad Viña del Mar

Environmental Compensation Proposal for the Ecological Footprint of the Rodelillo Campus, Viña del Mar University

Sandra Tapia Faggioni¹ 

Lorena del Pilar Muñoz del Campo² 

RESUMEN

El cálculo de la Huella Ecológica es una metodología utilizada como indicador ambiental basado en evaluar la superficie necesaria para compensar los gastos de utilización, ya sea por productos forestales, el gasto energético, la ocupación física del lugar, entre otros factores de consumo. En la actualidad, las universidades chilenas se han inclinado a contribuir progresivamente a la generación de análisis y conocimiento científico relacionado a la gestión de los recursos naturales de Chile, promoviendo conciencia sobre sustentabilidad a sus estudiantes y a la comunidad, a la vez que evalúan sus estrategias de sostenibilidad en sus instituciones. En la Universidad Viña del Mar, Campus Rodelillo, se determinó la Huella Ecológica con el propósito de desarrollar alternativas para la neutralización a través de proyectos sustentables, la forestación de flora nativa y la creación de un hospedaje estudiantil en el campus. El estudio dio como resultado que la Universidad Viña del Mar cuenta con una Huella Ecológica de 100.049 hectáreas globales anuales, más alto que otras Universidades internacionales. Además, se determinó que la Huella Ecológica per cápita es de 9,35 hag/año, que también se encuentra muy arriba de la Huella Ecológica del país que es de 4,28 hag/año. De los proyectos de compensación se pudo analizar que la superficie para forestar es insuficiente para disminuir la Huella Ecológica, dando una compensación de 0,061 hag/año per cápita. En cuanto a la compensación a través

ABSTRACT

The calculation of the Ecological Footprint is a methodology used as an environmental indicator based on evaluating the area necessary to compensate for utilization costs, whether for forest products, energy expenditure, physical occupation of the place, among other consumption factors. Currently, Chilean universities have been inclined to progressively contribute to the generation of analysis and scientific knowledge related to the management of Chile's natural resources, promoting awareness of sustainability to their students and the community, while evaluating their strategies of sustainability in their institutions. At the Viña del Mar University, Campus Rodelillo, the Ecological Footprint was determined in order to develop alternatives for neutralization through sustainable projects, the afforestation of native flora and the creation of a student accommodation on campus. The study resulted in the Viña del Mar University having an Ecological Footprint of 100.049 global hectares per year, higher than other international Universities. In addition, it was determined that the Ecological Footprint per capita is 9,35 hag/year, which is also well above the Ecological Footprint of the country, which is 4,28 hag/year. From the compensation projects, it was possible to analyze that the area to be afforested is insufficient to reduce the Ecological Footprint, giving a compensation of 0,061 hag/year per capita. Regarding compensation through the decrease in transportation by student accommodation, although the Ecological Footprint would decrease considerably, it would not be neutralized.

Fecha de recepción: octubre 2022; fecha de aceptación: noviembre 2022

¹ Ingeniería en Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad de Viña del Mar, Chile.

² Departamento de Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería y Negocios, Universidad Viña del Mar, Chile.

Autor de correspondencia: Sandra Tapia. Email: sandratapiafaggioni@gmail.com



Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una Licencia Creative Commons.

de la disminución de transporte por parte del hospedaje estudiantil, si bien la Huella Ecológica disminuiría considerablemente esta no se neutralizaría.

Palabras compensación, emisión de CO_{2eq}, Huella Ecológica, neutralización, sustentabilidad.

Keywords: compensation, CO_{2eq} emission, Ecological Footprint, neutralization, sustainability

INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta se compone de 13.600 millones de hectáreas de superficies productivas como bosques, áreas marinas y zonas de cultivo, lo que equivale a una cuarta parte de su superficie total (Global Footprint Network, 2008); Como el ser humano no es el único habitante del planeta Tierra y para mantener un equilibrio natural en el mismo, es necesario resguardar siquiera un 10% de esta superficie para otros seres vivos, brindando un total de 12.240 millones de hectáreas para la población mundial humana, dicho de otro modo, para cada persona en el mundo le correspondería aproximadamente 1,75 hectáreas (Martínez Castillo, 2007). Sin embargo, durante las últimas décadas, se ha observado un incremento del comercio global, del consumo y del crecimiento de la población humana (Organización Mundial de Conservación, 2012), siendo la sobrepoblación la principal causa del daño ecológico (Quintanar, 2010), sometiendo además un 67% en exceso a la biocapacidad que la naturaleza puede ofrecer (Global Footprint Network, 2021).

La eficiencia de la gestión de los recursos en el estilo de vida actual es casi nula (Fundación Ellen MacArthur, 2016); lo anterior se traduce entre otros, en deficiencias en la gestión de agua, exceso de consumo energético por los aparatos eléctricos que se utilizan diariamente, la exportación e importación de productos e incluso, las envolturas de estos últimos que además de causar impactos en los ecosistemas y océanos, aceleran el cambio climático.

Ante esta creciente preocupación, en 1997, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) a través de tratados internacionales, genera el protocolo de Kioto y, posteriormente en 2015, durante la COP21 en París, un acuerdo para frenar el cambio climático, aumentando la capacidad de los países para hacer frente a los efectos del cambio climático, fomentando el financiamiento de la tecnología sustentable en las empresas para lograr un nivel bajo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC, 2007; UNFCCC, 2015).

Para avanzar hacia la sustentabilidad, es imprescindible la utilización de herramientas innovadoras, como la Huella Ecológica, la cual mide el área necesaria para producir los recursos, ya sean consumidos por la sociedad que los genera, como por otras sociedades que les comprenden, y absorber los residuos generados por una sociedad determinada, independientemente de donde se encuentren localizadas estas superficies (Global Footprint Network, 2021).

A pesar de la importancia y el potencial de esta metodología, el cálculo de la Huella Ecológica en Chile, no se ha implementado adecuadamente en el área medioambiental ni en la gestión de las actividades productivas, donde es necesario aplicar y cuantificar este concepto para cumplir con las normativas internacionales (Valderrama et al., 2011). Por lo anterior, este trabajo se enfoca en obtener la Huella Ecológica del Campus Rodelillo de la Universidad Viña del Mar, Región de Valparaíso en Chile, y con ella evaluar la neutralización a través de proyectos sustentables.

Huella Ecológica: Concepto y Aplicación

La Huella Ecológica se utiliza como indicador ambiental, relacionando patrones de impacto que ejerce una cierta comunidad humana sobre áreas biológicamente productivas, necesarias para sostener a la comunidad. (Wackernagel et al. 2003).

Es posible clasificar superficie biológica en seis tipos, según las características del uso del suelo. Estos son:

- Tierras de cultivo: Superficies de uso agrícola, siendo la tierra más ecológicamente productiva.
- Tierras de pastoreo: Zonas aprovechadas para el pastoreo de ganado.
- Bosques: Superficies forestales ya sean naturales o repobladas, pero siempre que se encuentren en explotación.
- Zonas de pesca marina: Son áreas marinas donde existe producción biológica mínima

que puede ser aprovechada por la sociedad.

- Zonas de pesca continental: Son áreas de aguas continentales donde existe producción biológica mínima que puede ser aprovechada por la sociedad.
- Terreno construido: Son espacios urbanizados u ocupados por infraestructuras.
- Área de absorción de CO₂: Zonas de bosque imprescindibles para la absorción de CO₂ que es emitido a la atmósfera.

Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono y el metano, se producen de manera natural y puesto que aseguran que parte del calor del sol se mantenga en nuestro planeta (ONU, 2019). Sin embargo, algunos se formaron posterior al siglo XIX, también llamado “siglo de la industrialización”.

En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en el año 1997, se destacaron seis gases de efecto invernadero: CO₂, Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆).

Todos estos gases que atrapan el calor en la atmósfera contienen Potenciales de calentamiento global, que se comparan y expresan como CO_{2e}. El potencial de calentamiento es la medida del efecto radiactivo relativo de los Gases de Efecto Invernadero y se define como el valor de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación momentánea de 1kg de un GEI, en comparación con el causado por el CO₂.

Tabla 1

Potenciales de calentamiento global (GWPs) de los GEI más frecuentes

Potenciales de Calentamiento Global (GWPs)	
Gases de Efecto Invernadero	GWP (CO _{2e})
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21
Óxido nitroso (N ₂ O)	310

Fuente: IPCC (1997).

Cultivo de Biomasa vegetal en la Región de Valparaíso

Las plantaciones de biomasa vegetal en lugares con baja productividad debido al desabastecimiento de agua son gran aporte contra la desertificación y la erosión del suelo, puesto que enriquecen el suelo con materia orgánica, proveen un microclima de sombra y capturan dióxido de carbono (CO₂) desde la atmósfera, que podrían utilizarse en el mercado de bonos de carbono. Por esta razón, el cultivo de biomasa vegetal en la región de Valparaíso, traen potenciales beneficios tanto ambientales, como sociales y económicos (Gilabert, 2019).

Para la región de Valparaíso, una de las especies vegetales de vital importancia para estos proyectos es *Acacia spp.*, debido su resistencia a la sequía, con un consumo promedio de 433,6 [m³H₂O/tMS] (Gilabert, 2019), su alto crecimiento y rebrote, que le permite recuperarse muy rápidamente luego de incendios, y su capacidad de conservación de suelo y control de erosión (FAO, 1998).

El espino (*Acacia caven* (Mol.)), es una especie nativa en el centro y norte de Chile y se clasifica dentro de la región ecológica denominada de los Matorrales y Bosques esclerófilos. El espino es muy adaptable a variadas condiciones ambientales, con un requerimiento hídrico que fluctúa desde los 100 a 1000 mm anuales y sequías prolongadas, entre 10 y 11 meses en la zona norte y de 3 a 5 meses en la zona sur (Benedetti, 2012).

Campus Rodelillo, Universidad Viña del Mar

El Campus Rodelillo fue inaugurado el año 2004 para concentrar gran parte de la actividad académica de la Universidad Viña del Mar; Se ubica en el sector Rodelillo de la ciudad de Viña del Mar, y actualmente alberga a seis de las nueve escuelas de la Universidad, cerca de 9.000 estudiantes y 1.700 docentes de las Escuelas de Ingeniería y Negocios, Ciencias agrícolas y veterinarias, Ciencias de la Salud y Educación (Universidad Viña del Mar, 2020).

El campus Rodelillo de la Universidad Viña del Mar, como toda la Región de Valparaíso se emplaza en la Región del matorral y del bosque esclerófilo, que domina en presencia de condiciones climáticas del tipo mediterráneo. Los paisajes vegetales de esta región son variados, en gran parte por abordar una elevada densidad de poblacional y, en consecuencia, un pro-

minente grado de alteración de la flora nativa (Gajardo, 1994).

Objetivos

Objetivo general

Proponer un plan de compensación ambiental de la Huella Ecológica del Campus Rodelillo de la Universidad Viña del Mar.

Objetivos específicos

1. Generar una base de datos sobre la administración de los recursos naturales del Campus Rodelillo.
2. Definir la Huella Ecológica del Campus Rodelillo de la Universidad Viña del Mar.
3. Analizar la implementación de proyectos para la neutralización de la Huella Ecológica.

MÉTODO

Se especifica la metodología necesaria a emplear para la elaboración de este trabajo y cada uno de sus objetivos.

A. Metodologías para el Objetivo Específico 1

1. Obtención de datos de consumo de los recursos naturales en Campus Rodelillo, Universidad Viña del Mar.

A continuación, se presentan los recursos consumidos y los residuos solicitados de manera directa a la Universidad de Viña del Mar, para generar una base de datos de consumo en Campus Rodelillo:

Tabla 2

Tipos de recursos y de residuos considerados en el cálculo de la huella ecológica

Recursos naturales utilizados	Residuos producidos
Agua	Residuos Industriales Sólidos (RISes)
Construcción de edificios	Residuos Industriales Líquidos (RILes)
Energía eléctrica	
Energía térmica	
Transporte	

Elaboración propia.

2. Reconocimiento de los proyectos sustentables implementados

Para cumplir con esta actividad, se reconocieron de manera eficiente aquellos proyectos instaurados en el lugar a partir de Google

Earth e información entregada por la Universidad Viña del Mar.

B. Metodologías para el Objetivo Específico 2

El método de cálculo seleccionado para determinar la Huella Ecológica fue el establecido por IPCC (2006), el cual es función de la cantidad de CO_{2eq} emitido a la atmósfera y la capacidad de fijación de un bosque. Por tanto, en una primera etapa se calcularán las emisiones de gases de efecto invernadero del campus. Para efectos de cálculo se definieron dos escenarios:

- Escenario 1. Situación sin proyectos de mitigación: Cálculo de la Huella Ecológica sin medidas de mitigación incluidas.
- Escenario 2. Huella Ecológica del Campus año 2019: Cálculo de la Huella Ecológica con estudiantes en Campus Rodelillo, en las que se incluyen las medidas de mitigación.

Con ello es posible determinar la Compensación Actual en campus Rodelillo, Universidad Viña del Mar.

a. Cálculo de Emisiones de CO_{2eq}

Para el cálculo de las emisiones de CO_{2eq} se emplearon factores de emisión, su utilización depende del tipo de cálculo de los impactos ambientales (IPCC, 2006):

a.1. Cálculo de emisión por consumo de agua

Para determinar la emisión de CO_{2e} por medio del consumo del agua se utiliza la siguiente ecuación (López, 2008):

$$Emisión\ Agua \left[\frac{kg\ CO_{2e}}{año} \right] = F \left[\frac{m^3}{año} \right] \times EF \left[\frac{kg\ CO_{2e}}{m^3} \right] \quad (1)$$

EF: Factor de emisión.

El Factor de Emisión utilizado para este cálculo es el siguiente:

Tabla 3

Factor de emisión de consumo de agua

Variable	Factor de Emisión
Agua	0,121 kg CO ₂ /m ³

Fuente: López, (2008).

a.2. Cálculo de emisión por consumo de Energía eléctrica

A través de la metodología “Tool to calculate the emission factor for an electricity system” se determinó el factor de emisión en toneladas de CO₂ anuales por Mwh, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{tCO_{2e}}{anual} = F \left[\frac{Mwh}{anual} \right] \times EF \left[\frac{tCO_{2e}}{Mwh} \right] \quad (2)$$

Donde:

tCO_{2e}/ año: Emisiones anuales de GEI asociadas a la energía eléctrica.

F: Consumo eléctrico Mwh.

EF: Factor de emisión del SEN (Sistema Eléctrico Nacional).

Tabla 4

Factor de emisión de co₂eq en energía eléctrica

Factor de Emisión	(tCO _{2eq} / Mwh)
SEN (2020)	0,3834

Fuente: Comisión Nacional de Energía, (2021).

a.3. Cálculo de emisión por consumo de transporte

En este método, como en los anteriores, se utilizaron valores por defecto para el combustible (Diesel), utilizando la ecuación (3):

Donde:

tCO₂/año transporte: Emisiones anuales de CO₂ por km recorrido por año.

EF: Factor de emisión del CO₂ para el Diesel.

ρ: Densidad del Diesel.

CV: Poder calorífico.

PCV: Promedio consumo combustible por km.

K: kilómetros recorridos por año.

Tabla 5

Factor de emisión por defecto para combustión estacionaria en la categoría comercial / institucional

Combustible	EF	CO ₂		EF	CH ₄		EF	N ₂ O	
		Más bajo	Más alto		Más bajo	Más alto		Más bajo	Más alto
Gas / Diesel Petróleo	74.100	72.600	74.800	10	3	30	0,6	0,2	2
QWP de gas	1			25			310		
CO _{2e} (kg/TJ)	74.100	72.600	74.800	250	75	750	186	62	620
(tCO _{2e} /TJ)	74.536								

Fuente: (IPCC, 2006)

A continuación, se especifican las propiedades físicas de los combustible Diesel, Gas licuado y gasolina:

Tabla 6

Propiedades físicas del diesel

Poder Calorífico	10.133	kcal/kg
Densidad a 15°C	850	kg/m ³

Fuente: AChEE, (2017).

Para el cálculo de emisión por transporte de la Escenario 1 se consideró lo siguiente:

- 7% de la población universitaria se moviliza a través de vehículo particular de manera solitaria y un 3% comparten vehículo con otro acompañante.
- Un 90% de la población universitaria utiliza locomoción urbana.
- Por otro lado, para el cálculo de emisión por transporte del Escenario 2 se consideraron los supuestos a continuación:
- 3% de la población universitaria se moviliza a través de vehículo particular de manera solitaria y un 2% comparten vehículo con otro acompañante.
- Un 55% de la población universitaria utiliza locomoción urbana.
- Un 40% utiliza buses de acercamiento UVM.

a.4. Cálculo de emisión de los Residuos Líquidos Industriales (RILes)

La metodología aplicada para calcular la emisión concerniente a las aguas residuales que fue aprobada por las Naciones Unidas AMS.III.Y “Eludimiento de la producción de metano en el tratamiento de aguas residuales mediante la sustitución de sistemas anaeróbicos por sistemas aeróbicos.” (IPCC, 2006).

$$RIL \left[\frac{tCO_2}{anual} \right] = Q_y \left[\frac{m^3}{año} \right] \times DQO_y \left[\frac{mg}{l} O_2 \right] \times B_o \times GWP_{CH_4} \times MCF (4)$$

Donde,

tCO_{2e}/año RIL: Emisiones anuales de CO_{2e} por t/año de RIL generado.

Q_y: Caudal generado en año y.

DQO_y: Demanda Química de Oxígeno en año y.

B_o: Potencial de metanización.

GWP_{CH₄}: Potencial de calentamiento global para el CH₄.

MCF: Factor de corrección del CH₄ para el tratamiento de residuos líquidos.

Tabla 8Constantes para el cálculo de emisiones de co₂ en RIL

Constante	Valor
B _o	0,25
GWP _{CH₄}	21
MCF	0,738

Fuente: IPCC, (2006).

a.5. Cálculo de emisión de los Residuos Sólidos Industriales (RISes)

Las emisiones asociadas a RISes se realizaron de acuerdo con la herramienta “Methodological Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site” versión 04, utilizando la ecuación (5):

$$RIS \left[\frac{tCO_2}{anual} \right] = \phi \times (1 - f) \times GWP_{CH_4} \times (1 - OX) \times \frac{16}{12} \times F \times DOC_f \times MCF \times \sum W_{j,x} \times DOC_j \times e^{-k_j(y-x)} \times (1 - e^{-k_j})$$

(5)

Donde,

tCO₂/año RILES: Emisiones anuales de CO₂ por t/año de RISEs

Φ: Factor de corrección del modelo.

F: Fracción de metano quemada, capturada o usado para otra actividad.

GWP_{CH₄}: Potencial de calentamiento global para el CH₄.

OX: Factor de oxidación.

F: Fracción de metano en el gas residual.

DOC_f: Fracción orgánica degradable que se puede descomponer.

MCF: Factor de corrección del metano.

W_{j,x}: Cantidad de residuo a disponer (ton).

DOC_j: Fracción orgánica degradable (por peso) en el residuo tipo j.

K_j: Tasa de degradación del metano el tipo de residuo j.

X: Año durante el período de conteo.

Y: Año para el que se calculan las emisiones de metano.

Tabla 9

Constantes para el cálculo de emisiones de co2 en RISEs

Constante	Valor
φ	0,9
GWPC _{H4}	21
OX	0,1
F	0,5
DOC _f	0,5
MCF	1
DOC _j	0,15
k _j	0,185

Fuente: IPCC, (2006).

b. Determinación de la Huella Ecológica del Escenario 1

El Escenario 1 se presenta a continuación:

Escenario 1. Situación sin proyectos:

$$E.1 \left[\frac{hag}{año} \right] = \frac{\left(\frac{E_{E.1CO_2} + Tr_{E.1CO_2} + R_{S.1CO_2} + Ri_{S.1CO_2} + Agua_{S.1CO_2} [tCO_2]}{Fijación de CO_2 \left[\frac{tCO_2}{ha/año} \right]} + Sup_{Ha} \right) \left[\frac{ha}{año} \right]}{Factor global \left[\frac{ha}{hag} \right]}$$

(6)

Donde,

E.1: Hectáreas globales anuales de emisiones de CO₂ por t/año.

E_{E.1CO₂}: Consumo de energía eléctrica en tCO₂ anuales sin medidas de mitigación.

T_{rE.1CO₂}: Consumo de petróleo sin medidas de mitigación.

$R_{E.1CO_2}$: Caudal de RIL generado sin medidas de mitigación.

$RiCO_2$: Emisiones de CO_2 generados por RISEs.

$AguaCO_2$: Emisiones equivalentes de CO_2 producidos por el consumo de agua.

$Sup_{E.1ha}$: Superficie del Campus.

Fijación de CO_2 : Productividad de una hectárea de bosque promedio en Chile necesaria para absorber una tonelada de CO_2 .

Factor Global: Relación de productividad de los bosques de Chile con los bosques mundiales.

La fijación de CO_{2e} y el Factor global se obtuvieron de los datos solicitados a Footprint Network sobre los factores de equivalencia de los terrenos productivos de Chile y el mundo.

Constante de fijación de CO_2

Productividad de los bosques en Chile ($tCO_{2e}/ha/año$)	3,19
---	------

Fuente: Footprint Network, (2021).

Factor global (ha/hag)	1,75
----------------------------	------

Fuente: Footprint Network, (2021).

c. Determinación de la Huella Ecológica del Escenario 2

El Escenario 2 se presenta a continuación:

Escenario 2. Huella Ecológica en el Campus Rodelillo.

$$E.2 \left[\frac{hag}{año} \right] = \frac{\left(\frac{E_{S.2CO_2} + Tr_{E.2CO_2} + Ri_{CO_2} + Agua_{CO_2} [tCO_2]}{Fijación\ de\ CO_2 \left[\frac{tCO_2}{\frac{ha}{año}} \right]} + Sup_{Ha} \right) \left[\frac{ha}{año} \right]}{Factor\ global \left[\frac{ha}{hag} \right]} \quad (7)$$

Donde,

$E.2$: Hectáreas globales anuales de emisiones de CO_2 por t/año.

$E_{E.2CO_2}$: Consumo de energía eléctrica en tCO_2 anuales actuales de la compañía CGE.

$Tr_{E.2CO_2}$: Consumo de petróleo anuales del transporte actual, es decir, el consumo generado por vehículos, transporte público y buses de acercamiento UVM.

$RiCO_2$: Emisiones de CO_2 generados por RISEs.

$AguaCO_2$: Emisiones equivalentes de CO_2 producidos por el consumo de agua.

Sup_{ha} : Superficie del Campus.

Fijación de CO_2 : Productividad de bosque promedio necesario para absorber una tonelada de CO_2 .

Factor Global: Relación de productividad de los bosques de Chile con los bosques mundiales.

Con la determinación de la Huella Ecológica, se define la Compensación del Campus Rodelillo:

$$\text{Compensación} \left[\frac{\text{hag}}{\text{año}} \right] = \frac{\frac{\Delta Tr + R_{\text{planta T.}} + E_{\text{planta F.}} \left[\frac{\text{ha}}{\text{año}} \right] + \text{Vivero} \left[\frac{\text{ha}}{\text{año}} \right]}{\text{Fijación CO}_2} \left[\frac{\text{ha}}{\text{año}} \right]}{\text{Factor global} \left[\frac{\text{ha}}{\text{hag}} \right]} \quad (8)$$

Donde,

Compensación: Hectáreas globales anuales de emisiones de CO₂ por t/año.

Eplanta F.: Consumo de energía eléctrica en tCO₂ de la Planta Fotovoltaica en el año 2020.

ΔTr: Diferencia entre los transportes Tr_{E.1} y Tr_{E.2}.

Vivero: Superficie del vivero.

Fijación de CO₂: Productividad de bosque promedio necesario para absorber una tonelada de CO₂.

Factor Global: Relación de productividad de los bosques de Chile con los bosques mundiales.

d. Metodologías para el Objetivo Específico 3

Se analizará la factibilidad de poder neutralizar la Huella Ecológica Actual del Campus Rodelillo a través de un plan de cultivo de *Acacia caven* sp y la construcción de un hospedaje estudiantil en los alrededores del Campus Rodelillo.

d.1 Compensación a través del cultivo de *Acacia Caven* sp.

d.1.1 Delimitación de las áreas de forestación

Las áreas potenciales para el cultivo de flora nativa de primer orden en el Campus Rodelillo deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Terrenos sin vegetación arbórea: Suelos erosionados y de baja fertilidad.
- Terrenos con riesgo de erosión en el suelo: zonas con pérdida parcial de vegetación debido a la disminución de fertilidad de los suelos.

Con ello se estimará la superficie potencial de forestación a través de la observación directa.

d.1.2. Cálculo de la compensación por forestación

Para determinar la compensación de la fijación de CO₂ por parte del cultivo de *Acacia caven* sp., se utiliza la siguiente ecuación (Aguatacama, 2019):

$$\text{Fijación de } \textit{Acacia caven} \textit{ sp} \left[\frac{\text{hag}}{\text{año}} \right] = \frac{\left(I \left[\frac{\text{tMS}}{\text{ha}} \right] \times F \cdot F \left[\frac{\text{tCO}_2}{\text{tMS}} \right] \times A [\text{ha}] \right) [\text{tCO}_2]}{\frac{\text{Fijación CO}_2 \left[\frac{\text{tCO}_2}{\text{ha}} \right]}{\text{Factor global} \frac{\text{ha}}{\text{hag}}}} \quad (9)$$

Donde,

Fijación de *Acacia caven* sp.: Hectáreas globales anuales de emisiones de CO₂ que puede fijar el cultivo.

I: Incremento anual de la Biomasa total del cultivo en toneladas de Masa Seca por hectárea.

F. F: Factor de fijación de *Acacia caven* sp.

A: Área propuesta para el cultivo en hectáreas.

Fijación de CO₂: Productividad de bosque promedio necesario para absorber una tonelada de CO₂.

Factor Global: Relación de productividad de los bosques de Chile con los bosques mundiales.

El consumo de agua para el crecimiento óptimo del cultivo se calcula bajo la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo de Agua por Acacia caven sp} \left[\frac{m^3}{año} \right] = \text{Consumo promedio} \left[\frac{m^3}{tMS} \right] \times \text{Incremento} \left[\frac{tMS}{ha \times año} \right] \times \text{Área total} [ha]$$

(10)

Donde,

Consumo de Agua por Acacia caven sp.: metros cúbicos anuales utilizados para riego.

Consumo promedio: Consumo de agua necesaria para el crecimiento del cultivo.

Incremento: Incremento anual de la Biomasa total del cultivo en toneladas de Masa Seca por hectárea.

Área total: Área propuesta para el cultivo en hectáreas.

Luego se debe cuantificar la emisión de fabricación del agua entregada por la empresa ESVAL para su riego, utilizando la ecuación

$$\text{Emisión Agua} \left[\frac{kgCO_{2e}}{año} \right] = F \left[\frac{m^3}{año} \right] \times EF \left[\frac{kgCO_{2e}}{m^3} \right] \quad (1):$$

$$E. \text{ Agua} \left[\frac{hag}{año} \right] = F \left[\frac{m^3}{año} \right] \times EF \left[\frac{kgCO_{2e}}{m^3} \right] \times \frac{1}{1.000} \left[\frac{tCO_{2e}}{kgCO_{2e}} \right] \quad (10)$$

Donde,

E. Agua: Hectáreas globales anuales de emisiones de CO₂.

F: Consumo de agua necesaria para el crecimiento del cultivo.

EF: Factor de emisión.

Finalmente, se calcula la compensación de forestar el sector con flora nativa:

Compensación Forestación: Hectáreas globales anuales de emisiones de CO₂ por t/año.

E. Agua: Emisión de consumo de agua suministrada por ESVAL en tCO₂.

$$\text{Compensación Forestación} \left[\frac{hag}{año} \right] = \text{Fijación de Acacia caven sp} \pm E. \text{ Agua} \quad (11)$$

Agua_{plantaT}: Emisión de consumo de agua suministrada por la Planta de Tratamiento en tCO₂.

Fijación de CO₂: Productividad de bosque de Acacia caven sp. necesario para absorber una tonelada de CO₂.

Incremento: Incremento anual de la Biomasa total del cultivo en toneladas de Masa Seca por hectárea.

Factor Global: Relación de productividad de los bosques de Chile con los bosques mundiales.

Tabla 10

Datos para el cálculo de la compensación por la forestación de Acacia caven sp

Factor	Unidad
Consumo agua promedio	433,6 [m ³ H ₂ O/tMS]
Incremento de Biomasa	11,6 [tMS/ha/año]
Factor de fijación	1,698 [tCO ₂ /tMS]

Fuente: (Aguatacama, 2019)

d.2. Compensación a través de la construcción de un hospedaje universitario

La construcción de un complejo habitacional estudiantil en el Campus Rodelillo puede disminuir la Huella Ecológica al reducir la cantidad de estudiantes que se trasladan al Campus.

d.2.1. Delimitación del área de construcción

Las áreas potenciales para la construcción de un hospedaje en el Campus Rodelillo deben cumplir con la siguiente condición:

- Suelo erosionado y de baja fertilidad, para evitar impactos innecesarios en el lugar. Con ello y la observación directa se estimará el lugar propuesto para la construcción.

d.2.2. Cuantificación de los estudiantes hospedados

Para obtener la cantidad de estudiantes que podrían hospedarse en estas instalaciones, se debe proponer en primera instancia, el área de la edificación, la definición de los m² por piso, el número de habitaciones y el número de estudiantes por habitación.

Posteriormente, se calcula el número de estudiantes que residen en la instalación:

d.2.3. Cálculo de la compensación de un hospedaje universitario

En esta sección, se miden los impactos en la zona a construir el hospedaje y la Huella Ecológica del transporte.

$$Residentes\ Universitarios = N^{\circ}\ pisos \times \frac{N^{\circ}\ habitación}{piso} \times \frac{N^{\circ}\ estudiantes}{habitación} \quad (12)$$

d.2.3.1. Cálculo de impacto por construcción

En este segmento se cuantifica la emisión de CO₂ producido en el terreno ocupado y la Huella Ecológica producida por la construcción de esta edificación:

d.2.3.2. Cálculo de impacto por transporte

Al reducir el número de personas que utiliza transporte, se cuantifica la cantidad de personas que utilizan transporte para trasladarse a Campus Rodelillo:

$$Emisión\ Construcción \left[\frac{hag}{año} \right] = \frac{Área \left[\frac{ha}{año} \right]}{Fijación \left[\frac{ha}{hag} \right]} \quad (13)$$

$$HE\ Construcción \left[\frac{hag}{persona \times año} \right] = \frac{Emisión\ construcción \left[\frac{hag}{año} \right]}{Comunidad\ UVM} \quad (14)$$

Luego, se calcula la Huella Ecológica producto del transporte, utilizando la misma situación que para el Escenario 2:

- 3% de la comunidad se moviliza en vehículo particular de manera solitaria y un 2% comparte

$$Comunidad\ en\ transporte = 10.700 - Residentes\ Universitarios \quad (15)$$

vehículo con otro acompañante.

- Un 55% utiliza locomoción urbana.
- Un 40% emplea buses de acercamiento UVM.

Así se determina la Huella Ecológica per cápita del transporte:

d.2.3.3. Cálculo de la compensación por hospedaje universitario

$$HE\ transporte\ per\ cápita \frac{hag}{persona \times año} = \frac{HE\ transporte \left[\frac{hag}{año} \right]}{Comunidad\ UVM} \quad (16)$$

Con el cálculo de la Huellas Ecológicas, se cuantifica la compensación del hospedaje.

RESULTADOS

a. Base de datos sobre la gestión de los recursos naturales en Campus Rodelillo.

a.1. Datos de consumo de los recursos naturales en Campus Rodelillo, Universidad Viña del Mar.

A continuación, se exponen los consumos y residuos obtenidos en los años 2019-2020:

$$\text{Compensación Hospedaje} \left[\frac{\text{hag}}{\text{persona} \times \text{año}} \right] = \frac{((TR_{E.2} - TR_{Edificio}) + \text{Área}_{Edificio}) \left[\frac{\text{hag}}{\text{año}} \right]}{\text{Comunidad UVM}[\text{persona}]} \quad (17)$$

Tabla 11

Consumos obtenidos en campus Rodelillo (2019-2020)

Recurso	Organización	Consumo 2019	Consumo 2020
Agua	ESVAL	15.300 m ³ /año	9.524 m ³ /año
Energía eléctrica	CGE	270.522 kWh/año	189.084 kWh/año

Elaboración propia.

Tabla 12

Consumo por transporte escenario 1

Tipo transporte	Número de personas	Consumo 2019
Vehículo particular	749	146.804 l/año
Vehículo compartido	321	31.418 l/año
Transporte público	9.630	76.407 l/año

Elaboración propia.

Tabla 13

Generación de RISes año 2019

Residuo	Organización administradora	Generación 2019
RISes	Municipio	15.664 ton

Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presenta el área total del Campus Rodelillo:

Tabla 14

Superficies de los medios construidos en Campus Rodelillo

Edificación	Superficie (h)
Sede	0,50
Laboratorios	0,24
Campo de Fútbol	0,68
Gimnasio	0,40
Anfiteatro	0,13
Estacionamientos	0,34
Zonas de recreación	0,37
Zona de Veterinaria	0,22
Caminos	0,54
Parada de Buses	0,0347
Total	3,45

Elaboración propia a partir de Google Earth.

a.2. Inventario de los proyectos sustentables implementados

Los proyectos de mitigación implementados y su disminución de impacto son los siguientes:

Tabla 15
Proyectos sustentables implementados

Proyecto	Mitigación
Planta de Tratamiento de RILes	105.483,7 m ³ /año
Planta Fotovoltaica	167.914,6 kWh/año

Elaboración propia.

En la Tabla 18, se exponen el consumo anual por transporte para el Escenario 2, incluyendo como medida de mitigación los Buses de acercamiento UVM:

Tabla 16
Consumo por transporte escenario 2

Tipo transporte	Número de personas	Consumo 2019
Vehículo particular	321	62.916 l/año
Vehículo compartido	214	20.972 l/año
Transporte público	5.885	40.740 l/año
Buses de acercamiento UVM	4.280	88.095 l/año

Elaboración propia.

Por último, en la siguiente tabla se muestra la superficie del vivero y la zona de agricultura construidos en el campus:

Tabla 17
Superficie vivero y zona de agricultura

Sitio	Superficie (ha)
Vivero	0,0387
Zona de agricultura	0,0208

Elaboración propia.

b. Determinación de la Huella Ecológica

b.1. Emisiones de CO_{2eq}

En esta sección se detallan las emisiones obtenidas de cada consumo utilizado en el campus para cada Escenario evaluado:

Tabla 18
Emisiones de CO_{2eq} para el escenario 1

Recurso	Producto	Consumo anual	Emisión anual
Agua	Agua potable	15.300 m ³ /año	1.858,3 tCO _{2eq}
	Eléctrica	916.211 kWh/año	351,3 tCO _{2eq}
Energía	Transporte	254.670 l/año	576.496 tCO _{2eq}
RILes	Agua tratada	15.300 m ³ /año	23,7 tCO _{2eq}
RISes	Desechos	15.665 ton/año	1.870 tCO _{2eq}

Elaboración propia.

Tabla 19Emisiones de CO_{2eq} para el escenario 2

Recurso	Recurso	Consumo anual	Emisión anual
Agua	Agua	15.300 m ³ /año	1.858,3 tCO _{2eq}
Energía	Energía	916.211 kWh/año	351,3 tCO _{2eq}
		254.670 l/año	576.496 tCO _{2eq}
RILes	RILes	15.300 m ³ /año	23,7 tCO _{2eq}
RISes	RISes	15.665 ton/año	1.870 tCO _{2eq}

Elaboración propia.

b.2. Determinación de la Huella Ecológica del Escenario 1

Con toda la información recabada y las emisiones cuantificadas, se obtuvo el resultado de la Huella Ecológica para el Escenario 1:

Tabla 20

Escenario 1. Huella ecológica sin proyectos de mitigación

Recurso	Huella Ecológica (hag/año)	Huella Ecológica per cápita	
Agua	0,33	9,7 hag/persona-año	
Energía	Eléctrica		62,9
	Transporte		103.268,4
RILes	4,25		
RISes	334,97		
Superficie ocupada	2,51		
Total	103.673,4		

Elaboración propia.

b.3. Determinación de la Huella Ecológica del Escenario 2

A continuación, se expone la Huella Ecológica determinada para el Escenario 2:

Tabla 21

Escenario 2. Huella ecológica con proyectos de mitigación

Recurso	Huella Ecológica (hag/año)	Huella Ecológica per cápita	
Agua	0,3	9,35 hag/persona-año	
Energía	Eléctrica		55,8
	Transporte		99658,9
RISes	331,4		
Superficie ocupada	2,5		
Total	100.049		

Elaboración propia.

Con la determinación de la Huella Ecológica, se obtuvo que la Compensación del Campus Rodelillo corresponde a:

$$\text{Compensación} \left[\frac{\text{hag}}{\text{año}} \right] = 3.650,4 [\text{hag/año}] \quad (8)$$

c. Huella ecológica por compensar

c.1. Compensación a través del cultivo de *Acacia Caven* sp

En esta sección se detallan los resultados obtenidos del cálculo de la compensación de la fijación de CO₂ por parte del cultivo de *Acacia caven* sp

c.1.1. Delimitación de la zona a Forestar

A continuación, se detallan las coordenadas y el área total de las zonas que cumplen con las condiciones para el cultivo de flora nativa de primer orden en el Campus:

Tabla 22

Superficie potencial de forestación

Polígono	Coordenadas		Área (Ha)
	Latitud	Longitud	
1	-33.070327°	-71.553159°	1,65
2	-33.069876°	-71.552921°	0,21

Elaboración propia.

c.1.2. Cálculo de la compensación de la Forestación

A continuación, se detallan los resultados de las ecuaciones previas al cálculo de la compensación de la Forestación:

Tabla 23

Resultados ecuaciones para el cálculo de la compensación de la forestación

Elementos que considerar en el cálculo de compensación	Unidad
Fijación de <i>Acacia caven</i> sp	656,3 [hag/ha]
Consumo de Agua por <i>Acacia caven</i> sp	9.355,35 [m ² /año]
E. Agua	0,2 [hag/ha]

Elaboración propia.

Teniendo en consideración los valores especificados en la tabla 23, se tiene los siguientes resultados para el cálculo de la compensación:

Tabla 24

Cálculo de la compensación de la forestación

Compensación forestación	Unidad	E. Agua	Total
Con agua de Esva	0,061 [hag/ha]	0,2	0,061 [hag/persona/año]
Con agua Planta T.	656,5 [m ² /año]		0,061 [hag/persona/año]

Elaboración propia.

d. Compensación a través de la construcción de un hospedaje universitario

En esta sección se detallan los resultados obtenidos del cálculo de la compensación de la construcción

d.1. Delimitación de la zona de construcción

A continuación, se detallan las coordenadas y el área total de la zona que cumple con las condiciones para la construcción de un hospedaje universitario:

Tabla 25
Superficie potencial

Coordenadas		Superficie (ha)	Área (Ha)
Latitud	Longitud		
-33.071923°	-71.551701°	0,003	0,45

Elaboración propia.

d.2. Cuantificación de los estudiantes hospedados

Considerando la propuesta de área de edificación, la definición de los m² por piso, el número de habitaciones y el número de estudiantes por cada una de estas, se obtuvo el siguiente resultado para la cantidad de estudiantes que podrían hospedarse en las instalaciones:

$$\text{Cantidad de estudiantes} = 112 \text{ estudiantes (13)}$$

d.3. Cálculo de la compensación del hospedaje de los estudiantes

En esta sección, se detallan los resultados obtenidos de la medición de los impactos en la zona a construir el hospedaje y la huella ecológica del transporte:

d.3.1. Cálculo de impacto por construcción

$$HE \text{ Construcción} = 0,15 \left[\frac{hag}{persona \cdot año} \right] \text{ (15)}$$

d.3.2. Cálculo de impacto por transporte

El total de personas que se trasladaría al campus luego de la construcción del hospedaje corresponde a:

$$\text{Comunidad en transporte} = 10.588 \text{ (16)}$$

Con lo cual se obtuvo como resultado una huella ecológica para el transporte de:

$$HE \text{ Transporte per capita} = 8,51 \left[\frac{hag}{persona \cdot año} \right] \text{ (17)}$$

d.3.3. Cálculo de la compensación por hospedaje universitario

Considerando los resultados anteriores es que se obtuvo que la compensación del hospedaje se cuantifica en:

$$\text{Compensación hospedaje} = 0,95 \left[\frac{hag}{persona \cdot año} \right] \text{ (18)}$$

DISCUSIÓN

La Universidad de Viña del Mar es una de las pocas instituciones de educación superior Chilenas que son conscientes sobre la internalización de sus externalidades ambientales; Un ejemplo de esto es la formación del Comité de Medio Ambiente en el año 2019 y que tiene como función planificar y evaluar propuestas que favorecen la sostenibilidad y concientización de los impactos generados por la Universidad hacia el Medio Ambiente, por medio de actividades informativas, de educación y voluntariado que promueven comportamientos ecológicamente sostenibles en la población universitaria, como es el desarrollo de un plan de sostenibilidad para la certificación ISO 14.001 de gestión ambiental. De igual manera, la Universidad Viña del Mar es una de las cuatro universidades de Chile, teniendo el tercer lugar a nivel nacional y el rango 547 a nivel internacional, incluidas en la Escala Verde (Greenmetric) un ranking de sostenibilidad universitaria mundial creada por la Universidad de Indonesia (<http://greenmetric.ui.ac.id/>).

Asimismo, la Universidad Viña del Mar ha realizado una transición en la administración del consumo de los recursos naturales y la gestión medioambiental, en el Campus Rodelillo, lo que se ha manifestado en el valor de la Huella Ecológica calculada en esta investigación, obteniendo una Huella Ecológica de 9,7 hectáreas globales per cápita en el Escenario 1, sin proyectos de mitigación y de 9,35 hag/año por persona en el Escenario 2. Esta disminución se ha conseguido a través de las compensaciones generadas con los buses de traslado UVM y la disminución de consumo

eléctrico como resultado de la adquisición de equipos energéticamente más eficientes, como es la Planta Fotovoltaica de Autoconsumo. Ante esto, es fundamental enfatizar la importancia que la universidad tiene con relación al gasto energético, siendo precursor a nivel regional en la instalación de estos paneles solares, abarcando toda el área del techo de la edificación, lo que indica un porcentaje del 23% de consumo de energía renovable.

La actividad más relevante dentro de la cuantificación de la Huella Ecológica fue la movilidad, esto puede asociarse posiblemente a la logística del Campus Rodelillo, el que se encuentra lejos del centro de la ciudad, además de una insuficiencia en la oferta de buses de acercamiento UVM para la cantidad de estudiantes y docentes que deben trasladarse al campus y que, por lo mismo deben utilizar vehículos particulares o transporte público para llegar al lugar.

La siguiente tabla detalla el resultado de la Huella ecológica per cápita en Campus de la Universidad Viña del Mar y otras universidades internacionales:

Tabla 26

Huella ecológica per cápita en Campus de Universidades internacionales

Universidades	País	Año del estudio	Comunidad universitaria (personas)	Huella ecológica por personas (ha/persona anual)
Universidad de Viña del Mar	Chile	2021	10.700	9,36
Universidad central de Venezuela	Venezuela	2018	55.672	0,031
Universidad Técnica del Norte	Ecuador	2015	8.994	0,172
Universidad de Valladolid	España	2014	22.047	0,34

Fuente: Elaboración propia a partir de Universidad de Valladolid (2014), Guerra et. al (2018) & Romero (2017).

La Universidad Viña del Mar presenta el valor más alto de Huella Ecológica anual per cápita, en comparación con las otras tres universidades que muestran un rango similar en sus resultados. Si a la Huella Ecológica obtenida le adherimos las propuestas de compensación sobre la forestación y la edificación de una Residencia estudiantil, el impacto decrece tal como se ve en la siguiente tabla:

Tabla 27

Huella ecológica compensada en Campus de Universidades internacionales

Universidades	País	Año del estudio	Comunidad universitaria (personas)	Huella ecológica por personas (ha/persona anual)
Universidad de Viña del Mar	Chile	2021	10.700	8,34
Universidad central de Venezuela	Venezuela	2018	55.672	0,031
Universidad Técnica del Norte	Ecuador	2015	8.994	0,172
Universidad de Valladolid	España	2014	22.047	0,34

Fuente: Elaboración propia a partir de Universidad de Valladolid (2014), Guerra et. al (2018) & Romero (2017).

Esto indica que si bien, la implementación de una residencia estudiantil disminuye la Huella Ecológica del campus, no la neutraliza y se necesitarían más proyectos sustentables para ello. Además, la compensación del cultivo de flora nativa en los alrededores del campus es casi nula con un 0,061 hag/año, aún que esta se regara a partir del agua tratada por la planta de tratamiento UVM.

CONCLUSIONES

La Huella Ecológica de la Universidad Viña del Mar es de 9,35 hectáreas globales anuales per cápita, de acuerdo con los datos de consumo y emisiones de CO₂ obtenidos entre los años 2019-2021. Este valor resultó estar muy por arriba que otras Universidades internacionales y se debe a la cantidad de estudiantes y docentes que deben movilizarse hacia el Campus Rodelillo.

El aporte del transporte fue la actividad más relevante dentro de la cuantificación de la Huella Ecológica, esto puede asociarse posiblemente a la logística del Campus Rodelillo, el que se encuentra lejos del centro de la ciudad, además de una insuficiencia en la oferta de buses de acercamiento UVM para la cantidad de estudiantes y docentes que deben trasladarse al campus y que, por lo mismo deben utilizar vehículos particulares o transporte público para llegar al lugar.

Para establecer reducir eficientemente la Huella Ecológica en el campus es necesario evaluar otras medidas de compensación en el medio, así como un cálculo anual sobre la Huella Ecológica en el lugar.

La metodología para su cuantificación es variable ya que depende de diversos factores, por lo que su predicción está determinada por la disponibilidad de información y el acceso a las mismas. Por lo mismo, es necesario incluir los indicadores no analizados en este estudio para obtener cálculos más exactos y así comprobar la Huella Ecológica de las Universidad Viña del Mar.

Independientemente de los resultados obtenidos, la dirección de la administración y la gestión de la Universidad Viña del Mar debe ir guiada al área de la Sostenibilidad reproduciendo las metodologías de universidades internacionales, como se demuestra con la esca-la Greemetric de la Universidad de Indonesia. Ante esto, los focos estratégicos de la Universidad del Mar que van ligados a la Vinculación

con el medio, la Sostenibilidad, la educación e investigación ambiental son herramientas fundamentales para que la universidad concientice a la sociedad.

Una de las recomendaciones más importantes es rehacer el cálculo de la Huella Ecológica, incluyendo en esta ocasión los consumos de energía térmica que no se contabilizaron para este estudio.

En cuanto a la reducción de la emisión de CO₂ por parte de la movilización de la comunidad universitaria se propone trabajar en el aumento de arriendo de buses de acercamiento UVM, mejorando además la eficiencia en tiempo y traslado de los estudiantes y docentes desde el centro de la ciudad de Viña del Mar. Otra propuesta es fomentar el uso de automóviles compartidos a través de estacionamientos especiales para automóviles en donde viajen dos o más ocupantes. Una tercera opción, muy ligada a lo que estamos viviendo a nivel mundial por la contingencia COVID, es promover la docencia no presencial a través de plataformas e-learning (en línea) o b-learning (semipresencial), amonorando el número de días de desplazamiento para la comunidad hacia el Campus Rodelillo.

REFERENCIAS

- Asociación Chilena de Eficiencia Energética (AChEE). (2017). Anexo N° 2 Capacidades Caloríficas de distintos combustibles y factores de conversión de Unidades. Recuperado de <http://www.drto.cl/ACHEE/documentos/recursos/DireccionAnexo2.pdf>
- Benedetti, S. (2012). Monografía de espino Acacia caven (Mol.) Mol. Programa de Investigación de Productos Forestales no Madereros. Ministerio de Agricultura. Chile. Recuperado de <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/20248/30781-2.pdf;jsessionid=ABBF7D74EFA30244BED1E-F0C06DA14F6?sequence=1>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (2015). Aprobación del Acuerdo de París. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>
- Fundación Ellen MacArthur, World Economic Forum. (2016). The new plastics economy rethinking the future of plastics. Re-

- cuperado de <http://www.ellenmacarthur-foundation.org/publications>
- Gajardo, R. (1994). La vegetación natural de Chile: clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/184149969/La-Vegetacion-Natural-de-Chile-Rodolfo-Gajardo>
- Gilbert, H. (2019). Evaluación del potencial de captura de CO₂ en plantaciones forestales con riego en las regiones de Valparaíso, Coquimbo, Atacama y Antofagasta. Informe para Aguatacama. Recuperado de <http://www.aquatacama.com/sites/default/files/2020-04/Captura%20de%20carbono%20en%20el%20secano%20costero%20de%20Chile-def.pdf>
- Global Footprint Network, Comunidad Andina & Cooperación Regional Para Los Países Andinos. (2008). Huella Ecológica y Biocapacidad en la Comunidad Andina. Recuperado de https://www.footprintnetwork.org/content/images/uploads/CAN_Teaser_ES_2009.pdf
- Global Footprint Network. (2021). Plataforma de datos abiertos. Recuperado de https://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.229114844.1988037805.1617651086-1616400302.1615497266#/countryTrends?cn=40&type=earth
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Organización Meteorológica Mundial (OMM), & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (1997). La Ciencia del Cambio Climático. Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2006). Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Recuperado de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Organización Meteorológica Mundial (OMM), & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2007). Cambio climático 2007: impacto, adaptación y vulnerabilidad. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg2-sum-vol-sp.pdf>
- Guerra, J. & Rincón, I. (2018). Cálculo de la Huella Ecológica. Campus de la Universidad Central de Venezuela. Luna Azul, núm. 46, pp. 3-19. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/3217/321759619002/html/>
- López, N. (2008). Metodología para el Cálculo de la huella ecológica en universidades. 9° Congreso Nacional del Medio Ambiente. España. Recuperado de http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/987984792_NL-F3pez.pdf
- Ministerio de Energía. (2021). Etiqueta de Eficiencia Energética para vehículos livianos y medianos. Recuperado de <http://www.consumovehicular.cl/comparador/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1998). Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe | Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales. Recuperado de http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/redes/sisag/arboles/Chi-a-ca.htm
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019). Naciones Unidas: Cambio climático. Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/cities-pollution.shtml>
- Organización Mundial de Conservación (WWF). (2012). Informe Planeta Vivo 2012: Biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro. Resumen. Almond, R.E.A., Grooten M. y Petersen, T. Eds). WWF, Gland, Suiza. Recuperado de https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/informe_planeta_vivo_2012.pdf
- Quintanar, C. (2010). Influencia de la urbanización en la vivienda rural y calidad de vida en las familias. CONACyT. Psicología para América Latina, (19). Recuperado de http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-350X2010000100010
- Romero, R. (2017). Ecological Footprint Calculation of The Technical University El Olivo Campus, January -December 2015. Departamento de Ciencias Exactas, Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE. Revista Ciencia, Vol.19, 4, 465-476. Recuperado de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/548/459>
- Universidad de Valladolid (2014). La Huella Ecológica de la Universidad de Valladolid. Oficina de Calidad Ambiental y Sostenibilidad, Vicerrectorado de Patrimonio e Infraestructuras. Recuperado

de https://www.uva.es/export/sites/uva/7.comunidaduniversitaria/7.09.oficinacalidadambiental/_documentos/LA-HUELLA-ECOLOGICA-EN-LA-UNIVERSIDAD-DE-VALLADOLID.pdf

Universidad Viña del Mar (UVM). (2020). Reseña Histórica. Recuperado de <https://www.uvm.cl/resena-historica/>

Valderrama, J.; Espíndola, C. & Quezada, R. (2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. Formación universitaria, 4(3), 3-12. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062011000300002>

Wackemagel, M. & Rees, W.E. (2003). Nuestra huella ecológica: Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra. IEP/Lom Ediciones, 207. Recuperado de <http://journals.openedition.org/polis/7216>

sociales, evalúo estrategias ambientales en escenario nacional e internacional, estructuro marco institucional, diseño políticas económicas y financieras para la implementación de políticas sostenibles y bajas en carbono, así como las implicancias de estas en la creación de valor y crecimiento del PIB.

 <https://orcid.org/0000-0002-0986-1582>

BIOGRAFÍA

Sandra Tapia Faggioni

Ingeniera en Medio Ambiente de la Universidad Viña del Mar, actualmente trabajo como Encargada en Medio Ambiente en una compañía internacional que aplica soluciones tecnológicas innovadoras para el desarrollo sostenible en los sectores de energía y medioambiente. Mi principal interés es el estudio continuo de la legislación ambiental y su avance en la sostenibilidad a través de la economía circular.

 <https://orcid.org/0000-0003-3406-6190>

Lorena del Pilar Muñoz del Campo

Licenciada en Bioquímica, Diplomado en Negocios y Magíster en Dirección Financiera ambos. Desarrollo de diversos proyectos dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio, desde la concepción, implementación, hasta la emisión y comercialización de los Certificados de Reducción de CO₂ generados. Así mismo, he contribuido al desarrollo de una nueva metodología de cálculo de emisiones para proyectos MDL aprobada por IPCC, a la implementación de modelos de cálculo de reducción de emisiones y a estructuras de financiamiento a través de diversas fuentes internacionales. Evalúo, clasifico y entrego tasas de riesgo financiero asociado a la variable ambiental para créditos sindicados de inversión extranjera, genero salvaguardas ambientales y